



普通高等教育规划教材

计算机控制技术

夏扬 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育规划教材

计算机控制技术

主 编 夏 扬
副主编 郭速学 华 勇
参 编 施伟峰
主 审 褚 建



机械工业出版社

本书是普通高等教育应用型人才培养（自动化专业）规划教材之一。本书从工业控制应用出发，系统论述了计算机控制系统的原理和设计方法。全书内容包括：计算机控制系统引论，过程输入/输出通道，常用数字控制器设计，复杂数字控制器设计，控制计算机的组成，控制系统应用程序设计，计算机控制系统的可靠性，网络集成式分散控制系统，计算机控制系统的设计与实现。本书与已有的同类教材相比，增加了控制算法的仿真分析，并单设一章集中介绍控制计算机的组成。

本书可作为高等院校自动化、电气工程及其自动化、机电一体化、计算机应用等专业的教材，也可供工业自动控制及相关领域的工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

计算机控制技术/夏扬主编. —北京：机械工业出版社，2004.7
普通高等教育规划教材
ISBN 7-111-14606-9

I. 计... II. 夏... III. 计算机控制—高等学校—教材
IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2004）第 052585 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：王保家 责任编辑：苏颖杰 版式设计：张世琴
苏颖杰

责任校对：陈延翔 封面设计：姚毅 责任印制：石冉
保定市印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ ·11.75 印张·290 千字

定价：17.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
本社购书热线电话（010）68993821、88379646
封面无防伪标均为盗版

普通高等教育应用型人才培养规划教材 编 审 委 员 会

主 任：刘国荣 湖南工程学院
副主任：左健民 南京工程学院
陈力华 上海工程技术大学
鲍 泓 北京联合大学
王文斌 机械工业出版社

委 员：(按姓氏笔画排序)

刘向东 华北航天工业学院
任淑淳 上海应用技术学院
何一鸣 常州工学院
陈文哲 福建工程学院
陈 峻 扬州大学
苏 群 黑龙江工程学院
娄炳林 湖南工程学院
梁景凯 哈尔滨工业大学 (威海)
童幸生 江汉大学

自动化专业分委员会

- 主任：刘国荣 湖南工程学院
副主任：汤天浩 上海海事大学
梁景凯 哈尔滨工业大学（威海）
委员：（按姓氏笔画排序）
刘启中 上海工程技术大学
刘国繁 湖南工程学院
陈虹 扬州大学
宋丽蓉 南京工程学院
钱同惠 江汉大学
黄家善 福建工程学院

序

工程科学技术在推动人类文明的进步中一直起着发动机的作用。随着知识经济时代的到来,科学技术突飞猛进,国际竞争日趋激烈。特别是随着经济全球化发展和我国加入WTO,世界制造业将逐步向我国转移。有人认为,我国将成为世界的“制造中心”。有鉴于此,工程教育的发展也因此面临着新的机遇和挑战。

迄今为止,我国高等工程教育已为经济战线培养了数百万专门人才,为经济的发展作出了巨大的贡献。但据IMD1998年的调查,我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标排名世界第36位,与我国科技人员总数排名世界第一形成很大的反差。这说明符合企业需要的工程技术人员特别是工程应用型技术人才市场供给不足。在此形势下,国家教育部近年来批准组建了一批以培养工程应用型本科人才为主的高等院校,并于2001、2002年两次举办了“应用型本科人才培养模式研讨会”,对工程应用型本科教育的办学思想和发展定位作了初步探讨。本系列教材就是在这种形势下组织编写的,以适应经济、社会发展对工程教育的新要求,满足高素质、强能力的工程应用型本科人才培养的需要。

航天工程的先驱、美国加州理工学院的冯·卡门教授有句名言:“科学家研究已有的世界,工程师创造未有的世界。”科学在于探索客观世界中存在的客观规律,所以科学强调分析,强调结论的惟一性。工程是人们综合应用科学(包括自然科学、技术科学和社会科学)理论和技术手段去改造客观世界的实践活动,所以它强调综合,强调方案优缺点的比较并作出论证和判断。这就是科学与工程的主要不同之处。这也就要求我们对工程应用型人才的培养和对科学研究型人才的培养应实施不同的培养方案,采用不同的培养模式,采用具有不同特点的教材。然而,我国目前的工程教育没有注意到这一点,而是:①过分侧重工程科学(分析)方面,轻视了工程实际训练方面,重理论,轻实践,没有足够的工程实践训练,工程教育的“学术化”倾向形成了“课题训练”的偏软现象,导致学生动手能力差。②人才培养模式、规格比较单一,课程结构不合理,知识面过窄,导致知识结构单一,所学知识中有一些内容已陈旧,交叉学科、信息学科的内容知之甚少,人文社会科学知识薄弱,学生创新能力不强。③教材单一,注重工程的科学分析,轻视工程实践能力的培养;注重理论知识的传授,轻视学生个性特别是创新精神的培养;注重教材的系统性和完整性,造成课程方面的相互重复、脱节等现象;缺乏工程应用背景,存在内容陈旧的现象。④老师缺乏工程实践经验,自身缺乏“工程训练”。⑤工程教育在实践中与经济、产业的联系不密切。要使我国工程教育适应经济、社会的发展,培养更多优秀的工程技术人员,我们必须努力改革。

组织编写本套系列教材,目的在于改革传统的高等工程教育教材,建设一套富有特色、有利于应用型人才培养的本科教材,满足工程应用型人才培养的要求。

本套系列教材的建设原则是:

1. 保证基础,确保后劲

科技的发展,要求工程技术人员必须具备终生学习的能力。为此,从内容安排上,保证学生有较厚实的基础,满足本科教学的基本要求,使学生日后具有较强的发展后劲。

2. 突出特色，强化应用

围绕培养目标，以工程应用为背景，通过理论与工程实际相结合，构建工程应用型本科教育系列教材特色。本套系列教材的内容、结构遵循如下9字方针：知识新、结构新、重应用。教材内容的要求概括为：“精”、“新”、“广”、“用”。“精”指在融会贯通教学内容的基础上，挑选出最基本的内容、方法及典型应用；“新”指将本学科前沿的新进展和有关的技术进步新成果、新应用等纳入教学内容，以适应科学技术发展的需要。妥善处理好传统内容的继承与现代内容的引进。用现代的思想、观点和方法重新认识基础内容和引入现代科技的新内容，并将这些按新的教学系统重新组织；“广”指在保持本学科基本体系下，处理好与相邻以及交叉学科的关系；“用”指注重理论与实际融会贯通，特别是注入工程意识，包括经济、质量、环境等诸多因素对工程的影响。

3. 抓住重点，合理配套

工程应用型本科教育系列教材的重点是专业课（专业基础课、专业课）教材的建设，并做好与理论课教材建设同步的实践教材的建设，力争做好与之配套的电子教材的建设。

4. 精选编者，确保质量

遴选一批既具有丰富的工程实践经验，又具有丰富的教学实践经验的教师担任编写任务，以确保教材质量。

我们相信，本套系列教材的出版，对我国工程应用型人才培养质量的提高，必将产生积极作用，会为我国经济建设和社会发展作出一定的贡献。

机械工业出版社颇具魄力和眼光，高瞻远瞩，及时提出并组织编写这套系列教材，他们为编好这套系列教材做了认真细致的工作，并为该套系列教材的出版提供了许多有利的条件，在此深表衷心感谢！

编委会主任 刘国荣教授
湖南工程学院院长

前 言

随着微电子技术的迅猛发展，计算机的应用已深入到国民经济的各个领域，工业控制则是其中的一个重要领域。采用计算机控制是实现工业及其他领域自动化的重要技术手段和反映自动化程度的重要标志。计算机控制学科正是为适应现代自动化的要求发展起来的一门技术学科，它主要研究如何将计算机技术与控制理论相结合，根据工业生产过程的自动化要求，设计所要求的计算机控制系统。近年来，计算机控制技术已成为高等学校各类自动化、电气工程及其自动化、机电一体化、计算机应用等专业的主干专业课。

全书共分九章，以理论与应用并重的思路讲解了计算机控制系统设计的各个环节。第一章概述计算机控制系统的原理、组成、类型；第二章介绍过程输入/输出通道；第三章讲述数字控制器的设计，主要是常用的数字控制算法和仿真研究；第四章讲述复杂数字控制器的设计；第五章介绍控制计算机的组成；第六章介绍控制系统应用程序设计；第七章介绍计算机控制系统的可靠性；第八章介绍网络集成式分散控制系统；第九章介绍计算机控制系统的设计与实现。本书与已有的同类教材相比，在第三章中增加了控制算法的仿真分析，并单设一章集中介绍控制计算机的组成。

本书第一、三章由扬州大学夏扬编写，第二、四章由上海海事大学施伟峰编写，第五、七、九章由华北航天学院郭速学编写，第六、八章由上海工程技术大学华勇编写。夏扬任主编，负责全书的统一修改和编排定稿。

本书由浙江大学褚建教授担任主审，对全书进行了详细的审阅，在此表示衷心的感谢！

本书的出版得到了扬州大学出版基金的支持，在此谨表深切的谢意。

由于作者水平有限，尽管在编写过程中尽心尽力，书中难免有不妥或错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

序	
前言	
第一章 计算机控制系统引论	1
第一节 计算机控制系统的原理与组成	1
第二节 计算机控制系统的分类与特点	4
第三节 计算机控制的发展概况及趋势	8
思考题与习题	10
第二章 过程输入/输出通道	11
第一节 信号的采样与复现	11
第二节 模拟量输入通道	16
第三节 模拟量输出通道	21
第四节 数字量输入/输出通道	25
思考题与习题	28
第三章 常用数字控制器设计	30
第一节 数字控制器连续化设计技术	30
第二节 数字 PID 控制	36
第三节 最少拍控制器	47
第四节 达林 (Dahlin) 算法	60
第五节 控制算法仿真	64
思考题与习题	71
第四章 复杂数字控制器设计	73
第一节 纯滞后系统的 Smith 控制算法	73
第二节 串级控制算法	77
第三节 动态矩阵控制算法	81
思考题与习题	92
第五章 控制计算机的组成	93
第一节 控制计算机的构成	93
第二节 控制计算机的种类	95
第三节 工业 PC 机	100
思考题与习题	109
第六章 控制系统应用程序设计	110
第一节 测量数据预处理	110
第二节 数字滤波	114
第三节 监控组态软件	117
思考题与习题	121
第七章 计算机控制系统的可靠性	122
第一节 计算机控制系统可靠性概述	122
第二节 硬件系统可靠性技术	124
第三节 软件可靠性技术	133
思考题与习题	135
第八章 网络集成式分散控制系统	136
第一节 数据通信与工业网络	136
第二节 集散控制系统	143
第三节 现场总线控制系统	149
思考题与习题	158
第九章 计算机控制系统的设计与实现过程	159
第一节 计算机控制系统的工程设计方法	159
第二节 计算机控制系统的设计与实现过程	161
第三节 计算机控制系统设计举例	166
思考题与习题	178
附录 常用 z 变换	179
参考文献	180

第一章 计算机控制系统引论

自动控制在促进工农业生产和科学技术的发展中具有相当重要的作用，不但在尖端学科领域如航天航空、核技术、国防等方面的成就离不开自动控制，在一般的生产过程中采用自动控制也为高产、稳产、安全生产、改善劳动条件和提高经济效益创造了条件，是提高生产自动化水平的重要手段。

自动控制的实现起初靠采用模拟技术的模拟控制系统完成。由于模拟控制器是纯硬件的，一般只能完成简单的控制规律。随着生产技术的不断发展，生产规模越来越大，生产过程中的相关因素越来越复杂，传统的模拟控制仪表已不能适应生产过程自动化的更高要求。数字计算机以其信息处理能力、逻辑判断和快速数值计算功能不断渗透到人类活动的各个领域，在自动控制和自动化领域中，计算机也发挥着越来越重要的作用。以计算机为主体构成的自动控制系统——计算机控制系统正逐步取代传统的模拟控制系统，并应用于工业生产的自动化。

随着计算机技术的迅猛发展，计算机在工程控制中的应用也越来越广泛。如今计算机控制已广泛应用于各类工业生产过程的控制中。人们在计算机控制技术推广应用的实践中不断总结、创新，促进了计算机控制系统的设计理论和分析方法以及工程实现技术的不断发展和完善，使计算机控制技术成为一门以控制理论和计算机技术为基础的新的工程科学技术，并成为从事自动化技术工作的科技人员必须掌握的一门专业知识。

近年来，计算机网络技术的飞速进步促使计算机控制系统向网络化方向发展。在构建网络计算机控制系统时，相关的网络技术、通信技术是必不可少的。因此，当代的计算机控制技术是以计算机技术、自动控制技术、网络技术、通信技术作为基础的。

第一节 计算机控制系统的原理与组成

自动控制系统既可以由模拟控制器构成，也可以由数字控制器构成。目前的数字控制器绝大多数是用数字计算机实现的，因此，计算机控制系统指的是采用了数字控制器的自动控制系统。

一、计算机控制系统的工作原理

为了简单和形象地说明计算机控制系统的原理，图 1-1 给出了典型的单回路计算机控制系统的原理图。由于工业生产工程中的被控对象是物理对象，也称作模拟对象，即对象的状态变化是时间的连续函数，而计算机本身只能接受数字量，所以计算机控制系统中的计算机与被控对象之间的信息传递必须经由 A/D 转换器和 D/A 转换器完成。测量变送单元用于将被控对象的被控量转变为 A/D 转换器能接受的信号。执行机构则用来接受来自控制器的 D/A 转换器送出的控制量，并作用于被控对象。

如图 1-1 所示，计算机控制系统的工作过程可描述如下：

(1) 实时数据采集 以一定的采样间隔对来自测量变送装置的被控量 y 进行检测和转换。

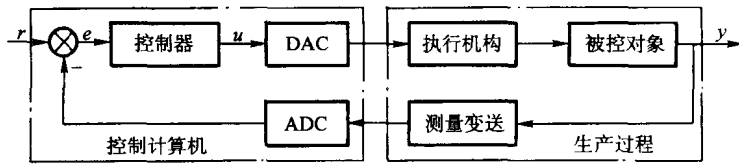


图 1-1 典型的单回路计算机控制系统原理图

(2) 实时控制计算 用采集的被控量 y 与给定值 r 计算误差 $e = r - y$ ，按预定的控制规律计算控制量 u 。此步亦称为控制决策。

(3) 实时控制输出 将实时计算获得的控制量 u 送至执行机构去影响被控对象的被控量，完成一次控制。

上述过程不断重复，使整个控制系统按预定的品质指标要求工作。熟知自动控制原理的读者不难看出，计算机控制系统完全是按反馈控制原理工作的。与模拟控制系统不同的是，计算机控制系统增加了模拟量与数字量相互转换的环节，从而使计算机控制系统的分析与设计不同于模拟控制系统。

由于计算机具有强大的数据处理能力，在完成上述的基本闭环实时控制任务的同时，还能实时对系统设备的状态实施监视，一旦出现异常情况就可以及时发出报警信号。此外，如今的计算机控制系统具有通信网络功能，可使计算机控制系统连成网络。

在前面的分析中，多次提及“实时”这个术语。所谓实时，指的是计算机控制系统能及时响应某一事件。在计算机控制系统中要求对外界信息的获取、控制决策的计算和控制量的输出都要在规定的某一时间段内完成。也就是计算机应有较快的运算速度，能在给定的时间内（通常为采样周期）完成一次对被控对象的控制。根据所控制对象的性质不同，有些系统的采样周期要以毫秒计，而另一些系统可以秒计等。只要在给定的采样周期内完成相应的控制任务，这些系统都是实时系统。

一般说来，计算机控制系统中，计算机与被控对象直接相连，被控对象直接受计算机的控制，这种运行方式称为在线方式或联机方式。只有以在线方式运行的系统才可能实施对被控对象的控制，即一个实时系统必须是在线系统，反之则不一定。与在线方式相对应的工作方式是离线方式或脱机方式，即计算机与生产过程不直接相连，而是靠其他中间介质，如磁盘、磁带等与生产现场发生联系，显然这样的系统是非实时系统。

二、计算机控制系统的组成

从图 1-1 可见，简单地讲，计算机控制系统是由控制计算机和生产过程两大部分组成的。控制计算机是计算机控制系统中的核心装置，是系统中信号处理和决策的机构，相当于控制系统的神经中枢。生产过程包含了被控对象、执行机构、测量变送等装置。从控制的角度看，可以将生产过程看作广义对象。虽然计算机控制系统中的被控对象和控制任务多种多样，但是就系统中的计算机而言，计算机控制系统其实也就是计算机系统，系统中的广义被控对象可以看作是计算机外部设备。因此，所有计算机控制系统都和一般计算机系统一样，是由硬件和软件两部分组成的。

(一) 硬件组成

计算机控制系统的硬件主要由主机、外部设备、过程输入输出通道和生产过程组成，如

图 1-2 所示。现对各部分作简要说明。

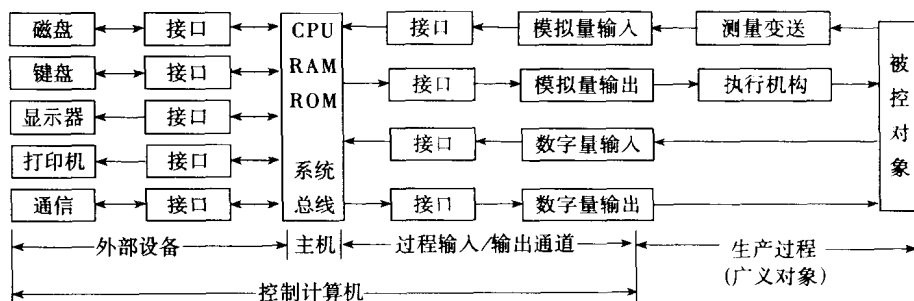


图 1-2 计算机控制系统硬件组成框图

1. 主机

主机由中央处理器（CPU）和内存存储器（RAM 和 ROM）通过系统总线连接而成，是整个控制系统的核心。它按照预先存放在内存中的程序指令，不断由过程输入通道获取反映被控对象运行工况的信息，并按程序中规定的控制算法，或操作人员通过键盘输入的操作命令自动地进行运算和判断，及时地产生并通过过程输出通道向被控对象发出相应控制命令，以实现对被控对象的自动控制。

2. 外部设备

通用计算机常用的外部设备有四类：输入设备、输出设备、外存储器和通信设备。

(1) 输入设备 最常用的有键盘，用来输入（或修改）程序、数据和操作命令。鼠标也是一种常见的图形界面输入装置。

(2) 输出设备 通常有 CRT 显示器、LCD 或 LED 显示器、打印机等，它们以字符、图形、表格等形式反映被控对象的运行工况和有关的控制信息。

(3) 外存储器 最常用的是磁盘（包括硬盘和软盘），它们具有输入和输出两种功能，用来存放程序和数据，作为内存存储器的后备存储器。

(4) 通信设备 用来与其他相关计算机控制系统或计算机管理系统进行联网通信，形成规模更大、功能更强的网络分布式计算机控制系统。

以上的常规外部设备通过接口与主机连接便构成通用计算机，但是这样的计算机不能直接用于自动控制。如果要用于控制，还需要配备过程输入/输出通道构成控制计算机。

3. 过程输入/输出通道

过程输入/输出通道是计算机与生产过程之间信息联系的桥梁和纽带。计算机与生产过程之间的信息传递都是通过过程输入/输出通道进行的。过程输入/输出通道分为模拟量和数字量两大类型。

(1) 模拟量通道 包括模拟量输入通道（简称 AI 通道）和模拟输出通道（简称 AO 通道）。AI 通道用来将测量仪表测得的被控对象各种参数的模拟信号，转换成数字量输入计算机。AO 通道将计算机产生的数字控制信号转换为模拟信号后，输出到驱动执行装置对被控对象实施控制。

(2) 数字量通道 包括数字量输入通道（简称 DI 通道）和数字量输出通道（简称 DO 通道）。DI 通道用来接收和反映被控对象状态的开关量或数字信号。DO 通道将计算机产生

的开关量控制命令输出并驱动相应的电器开关或信号灯等。

需要强调的是, 作为一台控制计算机, 过程输入/输出通道是必不可少的, 而前面提到的一般外部设备不一定都要具备, 而是根据具体的控制系统来决定需要有那些外设。例如, 用单片机构成的控制系统一般不带机械硬盘、软盘, 很多时候也没有 CRT 显示器。

4. 生产过程

生产过程包括被控对象及其测量变送仪表和执行装置。测量变送仪表将被控对象需要监视和控制的各种参数(如温度、流量、压力、液位、位移、速度等)转换为电的模拟信号(或数字信号), 而执行机构将计算机经 AO 通道输出的模拟控制信号转换为相应的控制动作, 去改变被控对象的被控量。

(二) 软件组成

仅由硬件构成的计算机控制系统同其他计算机系统一样, 只是一个硬壳而已, 必须配备相应的软件系统才能实现预期的各种自动化功能。软件是计算机工作程序的统称, 软件系统亦即程序系统, 是实现预期信息处理功能的各种程序的集合。计算机控制系统的软件程序不仅决定其硬件功能的发挥, 而且也决定了控制系统的控制品质和操作管理水平。软件通常由系统软件和应用软件组成。

1. 系统软件

系统软件是计算机的通用性、支撑性软件, 是为用户使用、管理、维护计算机提供方便的程序的总称。它主要包括操作系统、数据库管理系统、各种计算机语言编译和调试系统、诊断程序以及网络通信等软件。系统软件通常由计算机厂商和专门软件公司研制, 可以从市场上购置。计算机控制系统的设计人员一般没有必要自行研制系统软件, 但是需要了解和学会使用系统软件, 才能更好地开发应用软件。

2. 应用软件

应用软件是计算机在系统软件支持下实现各种应用功能的专用程序。计算机控制系统的应用软件是设计人员根据要解决的某一具体生产过程而开发的各种控制和管理程序。其性能优劣直接影响控制系统的控制品质和管理水平。计算机控制系统的应用软件一般包括过程输入和输出接口程序、控制程序、人机接口程序、显示程序、打印程序、报警和故障联锁程序、通信和网络程序等。一般情况下, 应用软件应由计算机控制系统设计人员根据所确定的硬件系统和软件环境来开发编写。

计算机控制系统中的控制计算机与通常用作信息处理的通用计算机相比, 它要对被控对象进行实时控制和监视, 其工作环境一般都较恶劣且需要不间断长期可靠地工作, 这就要求计算机系统必须具有实时响应能力和很强的抗干扰能力以及很高的可靠性。除了选用高可靠性的硬件系统外, 在选用系统软件和设计编写应用软件时, 还应该考虑到对软件的实时性要求和应用程序的可靠性。

第二节 计算机控制系统的分类与特点

一、计算机控制系统的类型

计算机控制系统根据所控制对象的复杂程度, 不同的控制目的和要求, 有不同的控制方

案。下面介绍几种典型的应用。

1. 操作指导控制系统

操作指导控制系统的构成如图 1-3 所示。这种系统常用于生产过程控制，其基本功能是监测与操作指导。系统的结构特点是只用到过程输入通道，用于采集被控对象的状态，而不直接去控制被控对象。它不属于自动控制意义下的系统，因此属于开环控制。但这样的系统又是后面介绍的系统的基础。

监测是由计算机通过过程输入通道实时地采集被控对象运行参数，经适当运算处理后，以数字、图表或图形曲线等形式，通过显示器实时反映被控对象运行工况信息，供操作人员对被控对象运行工况进行全面监视。在被控对象运行中，某些重要参数偏离正常值范围时，计算机发出报警信号，提醒操作人员进行应急操作，以确保被控对象安全正常工作。操作指导是计算机根据采集的数据，按照预先建立的数学模型和控制优化算法，计算出供操作人员选择的最优操作条件和操作方案，操作人员根据计算机给出的操作指导信息去改变调节器的给定值或直接操作执行机构。

操作指导控制系统是最简单的计算机控制系统，其优点是结构简单，控制灵活和安全，节省常规显示和记录仪表，降低操作人员的劳动强度；其不足之处是在施行控制时，仍是人工控制，操作速度受限制。操作指导控制系统有时又称为数据采集和监视系统，这时的侧重点在数据采集和过程监视上，因为在实际应用中，对生产过程的监视功能用得较多。

2. 直接数字控制系统

直接数字控制 (Direct Digital Control) 系统，简称 DDC 系统，其系统构成如图 1-4 所示。在 DDC 系统中计算机代替常规模拟控制器，直接对被控对象进行控制。很明显，DDC 系统是闭环控制。实际上，在操作指导控制系统里加入过程输出通道就构成 DDC 系统。其工作过程是计算机首先通过过程输入通道实时采集被控对象运行参数，然后按给定值和预定的控制规律计算出控制信号，并由过程输出通道直接控制执行机构，使被控量达到控制要求。

由于 DDC 系统中的计算机直接与生产过程相连并承担控制任务，加之工业现场环境恶劣、干扰多，要求选用的控制计算机实时性好，抗干扰能力强、可靠性高。为了充分发挥计算机的利用率，一台 DDC 计算机往往控制多个回路，在硬件、软件设计时要保证系统在规定的时间内完成所有的控制任务。

DDC 系统利用计算机强有力的数值计算和逻辑判断推理能力，不需变更硬件，通过软件不仅可以实现常规的反馈控制、前馈控制以及串级控制等控制方案，而且可以方便灵活地实现模拟控制器难以实现的各种先进复杂的控制律，如最优化控制、自适应控制、多变量控

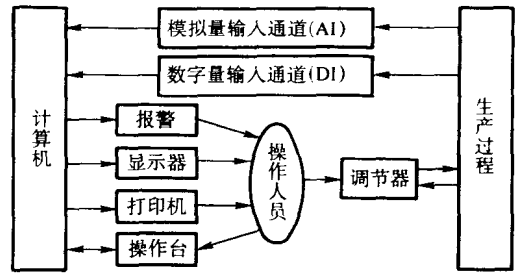


图 1-3 操作指导控制系统的构成

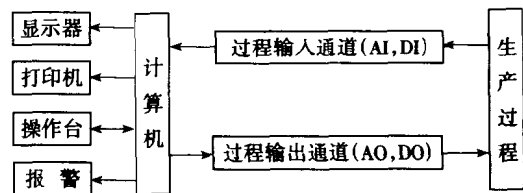


图 1-4 直接数字控制系统构成

制、模型预测控制以及智能控制等，从而可以获得更好的控制性能。

DDC 系统是最重要的一类计算机控制系统，也是最常见的计算机控制系统，通常它直接影响控制目标的实现。DDC 系统性能的优劣不仅跟计算机硬件和软件技术有关，而且更主要的是它与控制规律、控制算法密切相关。正因为如此，DDC 系统列为本书的主要研究对象。

3. 计算机监督控制系统

在 DDC 控制方式中，被控对象的给定值是预先设定的，它不能根据生产过程工艺信息和生产条件的改变及时得到修正。所以 DDC 系统不能使生产过程处于最优工况。计算机监督控制 (Supervisory Computer Control) 系统简称 SCC 系统，是在 DDC 系统上加一级监督级构成的，其构成如图 1-5a 所示。监督级计算机根据反映被控对象运行工况的数据和预先给定的数学模型及性能目标函数，按照预先确定的优化算法或监督规则，通过相应计算机的计算和推理判断，为 DDC 系统提供最优设定值，或修改 DDC 系统控制律中的某些参数或某些控制约束条件等，使生产过程处于最优工况 (如最低成本、最低能耗、最高产量等)。SCC 系统的主要作用是改变下位控制器的给定值，所以又称它为设定值控制 (Set Point Control)。

监督控制方式的控制效果依赖于生产过程数学模型的准确性。该数学模型一般是按某个目标函数设计的。如果这个数学模型能使某个目标函数达到最优状态，SCC 方式就能实现最优控制。如果数学模型不准确，那么控制效果会变差。

SCC 有两种不同的结构形式，如图 1-5 所示。

(1) SCC + DDC 的分级控制系统 图 1-5a 所示系统实际上是一个二级控制系统。SCC 监控级是上位计算机，DDC 级是下位计算机，两级间由通信接口交换信息。SCC 级计算机完成系统优化计算并发送最优给定值给 DDC 级计算机。除了优化计算外，SCC 级计算机还可完成对生产过程的监控。当 DDC 级计算机出故障时，SCC 级计算机可接替 DDC 级计算机完成 DDC 级的控制功能。

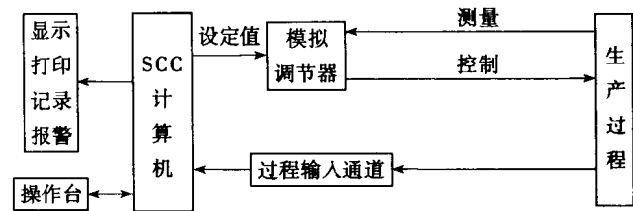
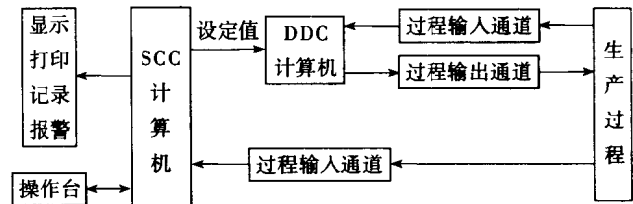


图 1-5 监督控制系统

a) SCC + DDC 系统 b) SCC + 模拟调节器系统

(2) SCC + 模拟调节器 图 1-5b 所示系统是在模拟调节器控制的基础上添加了 SCC 级计算机。这种结构

适合生产过程已有模拟仪表控制，而希望系统能有优化控制能力和监控功能的情形。与 SCC + DDC 结构不同，这里的 SCC 级计算机要担负对过程变量的采集。优化计算和监控的实现与 SCC + DDC 结构相同。当 SCC 级计算机出故障时，过程的控制由模拟控制器完成。

在 SCC 中，由于 SCC 级的计算机承担了优化控制、先进控制和管理任务，其信息处理量大，人机交互频繁。一般采用功能较强的计算机，配有完善的外部设备。

4. 集散控制系统

计算机控制发展初期,控制计算机采用的是中、小型计算机,价格昂贵。为充分发挥计算机的功能,对复杂的生产对象的控制都是采用集中控制方式。一台计算机控制多个设备,多条回路,以便充分利用计算机。这种方式中计算机的可靠性对整个生产过程的影响举足轻重,一旦计算机出故障,生产过程受到极大影响。采用冗余技术,另外增加备用计算机,投资又太大。随着功能完善而价格低廉的微处理器、微型计算机的出现,可以用分散在不同地点的若干台微型计算机分摊原先由一台中、小型计算机完成的控制与管理任务,并用数据通信技术把这些计算机互连,构成网络式计算机控制系统。这种系统具有网络分布结构,所以称为分散(或分布)控制系统 DCS (Distributed Control System)。但在自动化行业更多称其为集散控制系统,简称 DCS,因为集散控制反映了分散控制系统的重要特点:操作管理功能的集中和控制功能的分散。集散系统的典型结构如图 1-6 所示。

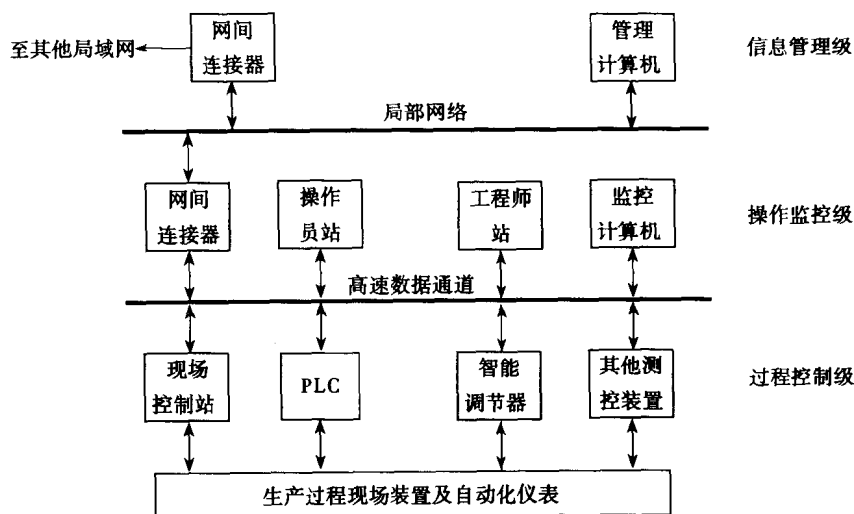


图 1-6 集散控制系统的典型结构

DCS 采用分散控制、集中操作、分级管理,分而自治和综合协调的设计思想,将工业企业的生产过程控制、监督、协调与各项生产经营管理工作融为一体,由 DCS 中各子系统协调有序地进行,从而实现控制管理一体化。系统功能自下而上分为过程控制级(或装置级)、操作监控级(或车间级)、(或企业级)等,每级由一台或数台计算机构成,各级之间通过通信总线相连。其中,过程控制级由若干现场控制计算机(又称现场控制单元/站)对各个生产装置直接进行数据采集和控制,实现数据采集和 DDC 功能;操作监控级对各个现场控制机的工作进行监督、协调和优化;信息管理级执行对全厂各个生产管理部门监督、协调和综合优化管理,主要包括生产调度、各种计划管理、辅助决策,以及生产经营活动信息数据的统计综合分析等。

5. 现场总线控制系统

集散控制系统是 20 世纪 70 年代中期发展起来的一类网络式控制系统,已在工业控制中得到了广泛的应用,提高了工业企业的综合自动化水平。然而,由于 DCS 采用了“操作站-控制站-现场仪表”的结构模式,系统造价较高。DCS 的另外一个弱点是各个自动化仪

表公司生产的 DCS 有其自己的标准,不能互连,设备无互换性和互操作性。

20 世纪 90 年代初,出现了一种新型的用于工业控制底层的现场设备互连的数字通信网络——现场总线技术。现场总线是连接现场智能仪表与自动化系统的数字化、双向传输、多分支的通信网络。现场总线既是开放的通信网络,又可组成全分布的控制系统,用现场总线把组成控制系统的各种传感器、控制器、执行机构等连接起来就构成了现场总线控制系统 FCS (Fieldbus Control System)。FCS 有两个显著特点,一是系统内各设备的信号传输实现了全数字化,提高了信号传输的速度、精度和距离,使系统的可靠性提高;二是实现了控制功能的彻底分散,即把控制功能分散到各现场设备和仪表中,使现场设备和仪表成为具有综合功能的智能设备和仪表。

FCS 的结构模式是“工作站-现场智能仪表”,比 DCS 的三层结构模式少一层,降低了系统成本,提高了系统可靠性。在统一的国际标准下可实现真正的开放式互连系统结构。FCS 是一种很有前途的计算机控制系统,值得自动化领域的科技人员关注与研究。

二、计算机控制的主要特点

计算机控制与模拟(连续)控制相比,具有下列特点:

- 1) 计算机控制利用计算机的快速运算能力,一台计算机通过分时工作可以控制多个回路;还可同时实现 DDC、顺序控制、监督控制等多种控制功能。其系统功能价格比较高。
- 2) 计算机控制利用计算机的存储记忆、数字运算和 CRT 显示功能,可以同时实现控制器、指示器、手操器以及记录仪等多种模拟仪表的功能,并且便于集中监视和操作,可减轻工作人员的劳动强度。
- 3) 计算机控制利用计算机强大实时信息处理能力,可以实现模拟控制难以实现的各种先进复杂的控制策略,如自适应控制、最优控制、多变量控制、模型预测控制以及智能控制等。从而可能获得比常规控制更好的控制性能,甚至还可实现对难以控制的复杂被控对象(如多变量系统、大滞后系统以及某些时变系统和非线性系统等)的有效控制。
- 4) 计算机控制系统调试、整定灵活方便。控制策略和控制算法及其参数的改变和整定,只要通过修改软件和键盘操作即可实现,不需要更换或变动任何硬件,系统适应性强。
- 5) 利用网络分布结构可以构成计算机控制管理集成系统(即 DCS),实现工业生产与经营的控制管理一体化,大大提高工业企业的综合自动化水平。
- 6) 与模拟控制不同,计算机控制系统的信号采样、误差计算、控制量的计算和输出都是以一定的时间间隔进行的,因此系统中出现了离散信号。系统中同时存在着连续型和离散型两类信号,属于混合系统。系统中必有 A/D 和 D/A 转换器实现连续信号与离散信号相互转换。连续系统控制理论不能直接用于计算机控制系统分析和设计。

第三节 计算机控制的发展概况及趋势

计算机控制是计算机技术与控制理论、自动化技术相结合的产物。它的发展与计算机技术的进步密不可分。追溯计算机控制在工业上的应用历史,可从 20 世纪 50 年代中期算起,此后可按计算机控制的发展进程分成:50 年代的起步期、60 年代的试验期、70 年代的推广期、80 年代的成熟期、90 年代以后的进一步发展期。